

ICS 71.120.30

CCS J 75

团 体 标 准

T/XXXX XXX-2021

分离式热管换热器工程技术规范

Technical specification for engineering
of separated heat pipe exchangers

(征求意见稿)

2021-XX-XX 发布

2021 - XX- XX 实施

江苏省机械工程学会
南京标准化学会

发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 设计	3
5 材料	6
6 制造	7
7 检验与试验	7
8 验收	8
9 铭牌	9
10 包装、运输与贮存	9
11 文档资料	9
附录 A（资料性附录）分离式热管换热器设计数据表	10
附录 B（规范性附录）泄漏试验	11

前 言

本文件依据 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部份：标准化文件的结构和起草规则》进行编制。

本文件由江苏省机械工程学会、南京标准化学会提出。

本文件由江苏省机械工程学会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件于 2021 年 XX 月首次发布。

分离式热管换热器工程技术规范

1 范围

本文件规定了分离式热管换热器的设计、材料、制造、安装、检验与试验、验收、铭牌、包装、运输与贮存及文档资料的基本要求。

本文件适用于工业生产过程中 350℃以下的烟气余热利用、工艺气体换热用无管芯分离式热管换热器。

超过 350℃的烟气余热利用、工艺气体换热用分离式热管换热器可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 150.2-2011 压力容器 第 2 部分：材料
- GB/T 150.4-2011 压力容器 第 4 部分：制造、检验和验收
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 706 热轧型钢
- GB/T 1527-2017 铜及铜合金拉制管
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 3087-2008 低中压锅炉用无缝钢管
- GB/T 3274 碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带
- GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB 4053 固定式钢梯及平台安全要求
- GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带
- GB/T 4238 耐热钢钢板和钢带
- GB/T 4437.1-2015 铝及铝合金热挤压管 第 1 部分：无缝圆管
- GB/T 5310-2017 高压锅炉用无缝钢管
- GB 6222 工业企业煤气安全规程
- GB/T 6893-2010 铝及铝合金拉（轧）制无缝管
- GB/T 8890-2015 热交换器用铜合金无缝管
- GB/T 8923.1-2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 I 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 9082.1-2011 无管芯热管
- GB/T 9948-2013 石油裂化用无缝钢管
- GB/T 13237 优质碳素结构钢冷轧薄钢板和钢带
- GB/T 13296-2013 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
- GB/T 14811 热管术语
- GB 15577 粉尘防爆安全规程
- GB/T 16400 绝热用硅酸铝棉及其制品
- GB/T 16507.5-2013 水管锅炉 第 5 部分：制造

GB/T 21833.1-2020 奥氏体-铁素体型双相不锈钢无缝钢管
 GB/T 22395 锅炉钢结构设计规范
 GB 50009 建筑结构荷载规范
 GB 50011 建筑抗震设计规范
 GB 50017 钢结构设计标准
 GB/T 50185 工业设备及管道绝热工程施工质量验收规范
 GB 50191 构筑物抗震设计规范
 GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范
 GB 50235 工业金属管道工程施工及验收规范
 GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
 GB 50316 工业金属管道设计规范
 GB 50755 钢结构工程施工规范
 NB/T 47030 锅炉用高频电阻焊螺旋翅片管技术条件
 TSG 11-2020 锅炉安全技术规程
 YS/T 662-2018 铜及铜合金挤制管

3 术语和定义

GB/T 14811 的术语及下列界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

分离式热管换热器 separated heat pipe exchanger

由热管的蒸发段和冷凝段分开布置的热管所组成的换热器。热管的蒸发段和冷凝段以管束形式分别布置在各自的壳体通道中，通过蒸汽上升管和冷凝液下降管连接构成的自然循环回路。

3.2

基管 base pipe

热管蒸发段、冷凝段管束中包容工质的无缝管。

3.3

管束单元 unit pipe bundle

由热管蒸发段管束、冷凝段管束、上升管、下降管、联箱组成的循环回路单元（见图1）。

3.4

热流体换热器 thermal fluid heat exchanger

由热管蒸发段管束和其所在壳体组成的换热器。

3.5

冷流体换热器 cold fluid exchanger

由热管冷凝段管束和其所在壳体组成的换热器。

3.6

单预热 single preheating

一种冷流体换热器与一种热流体换热器通过上升管、下降管组成的自然循环回路。

3.7

双预热 double preheating

两种冷流体换热器与一种热流体换热器通过上升管、下降管组成的自然循环回路。

3.8

壳体设计压力 shell design pressure

在正常运行工况下，冷、热流体换热器中，冷、热流体在壳体内的最高压力。

3.9

壳体泄漏试验压力 shell leakage test pressure

对壳体进行泄漏试验的压力。试验介质为气体，取 1.0 倍壳体设计压力。

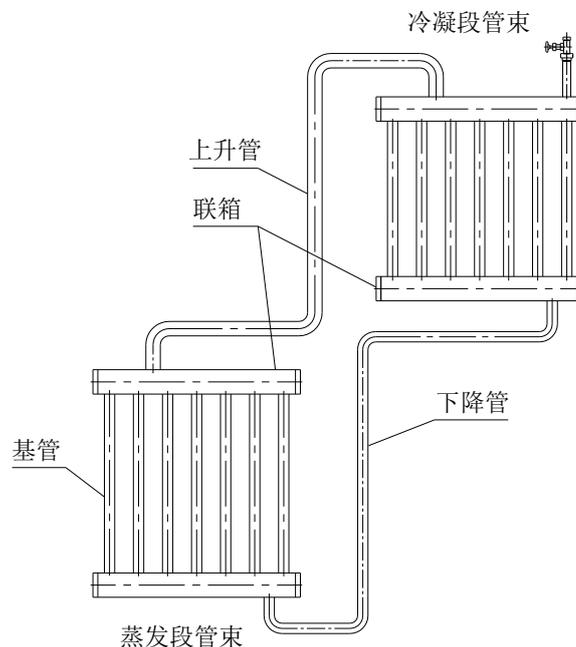


图 1 管束单元示意图

4 设计

4.1 一般规定

- 4.1.1 分离式热管换热器主要有单预热、双预热形式，视工艺要求和现场布置条件确定结构。
- 4.1.2 分离式热管换热器结构中的热管蒸发段、冷凝段以管束形式分离布置在各自的壳体通道中，用上升管、下降管组成自然循环回路；热管冷凝段管束置于蒸发段管束之上。
- 4.1.3 分离式热管换热器双预热形式宜采用图 2 中结构。
- 4.1.4 冷、热流体换热器，宜采用模块化结构。
- 4.1.5 冷、热流体在各自壳体通道内流动应无滞留区。
- 4.1.6 冷、热流体流经处换热管束及壳体处于低温露点腐蚀的部位应采取防腐蚀措施，防腐要求按设计文件中的规定。
- 4.1.7 含有粉尘的气体应在其流经的换热器中设置清灰装置，下部设置排灰装置，粉尘的防爆应符合

合 GB 15577 中相应规定。

4.1.8 含有机械水的气体应在其流经换热器前设置脱水装置，下部设置排水装置。

4.1.9 冷、热流体换热器中密封材料的选择和结构设计应满足相应的密封要求。

4.1.10 分离式热管换热器中，用于加热工业煤气的冷流体换热器顶部应设置煤气放散装置，放散管口应高出煤气换热器壳体顶部 4m，离地面不小于 10m，管口做防雨、防堵塞措施，应符合 GB 6222 中相应规定。

4.1.11 当环境温度低于或等于 25℃ 时，设备及管道保温结构外表面温度不应超过 50℃；当环境温度高于 25℃ 时，设备及管道保温结构外表面温度不应高于环境温度+25℃，应符合 GB 50264 中相应规定。

4.1.12 在设计条件下，分离式热管换热器正常操作运行条件下 3 年内换热效率降低不应超过 5%。

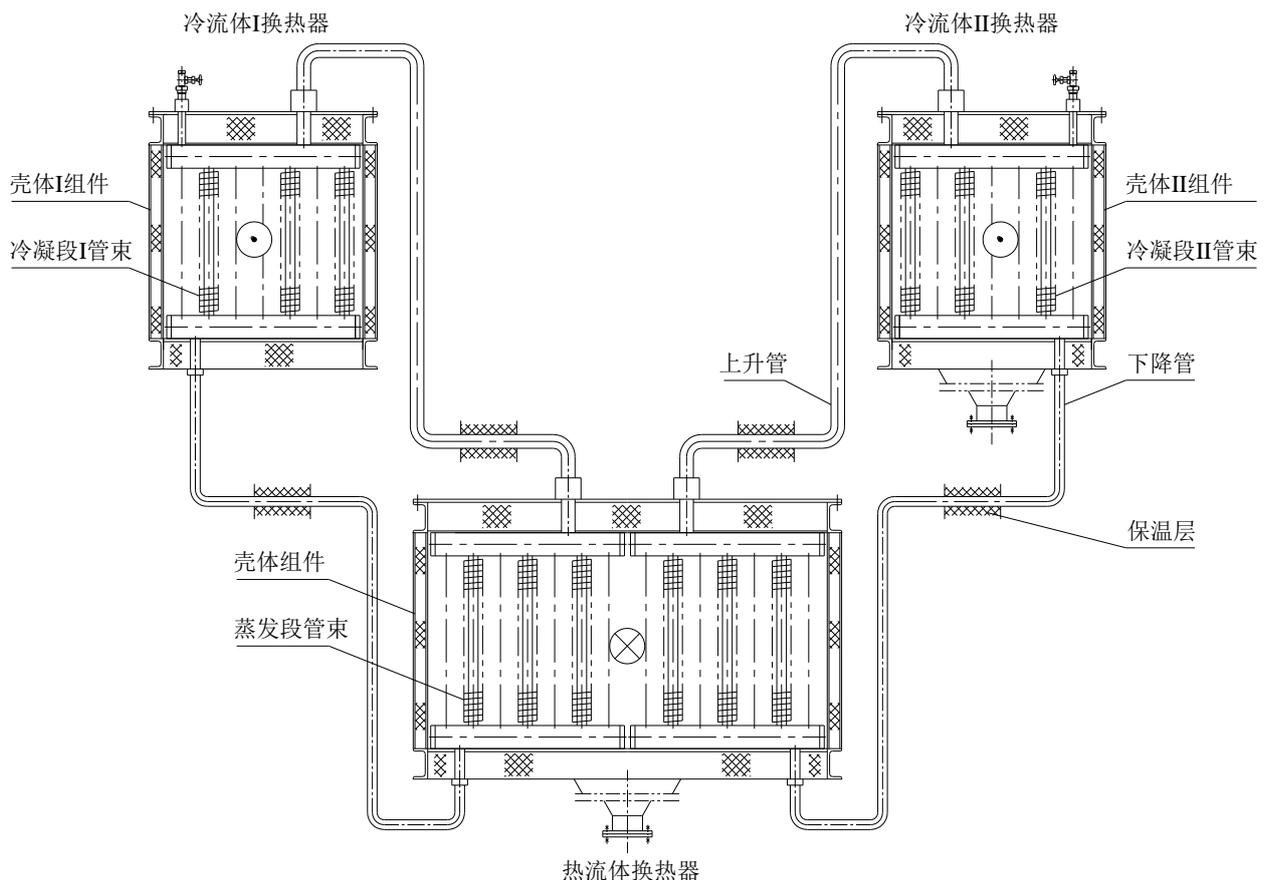
4.2 工艺设计

4.2.1 分离式热管换热器设计数据表见附录 A，应包括设计条件，热流体、冷流体组成成分、流量、进出换热器温度、压降、换热量、换热面积等相关数据、信息。

4.2.2 基管可采用光管或翅片管。翅片型式可采用螺旋圆盘翅片或齿型翅片等。

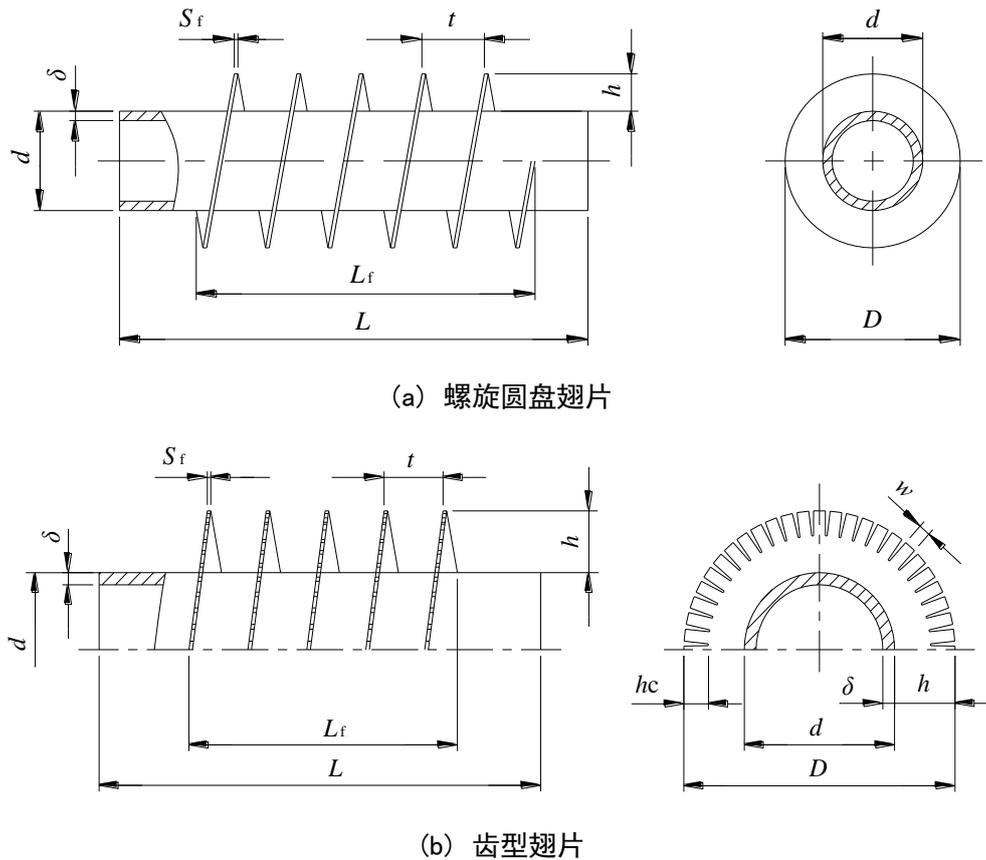
4.2.3 常用的基管外径与壁厚、管外翅片厚度、高度、翅片螺距等，见图 3(a)(b)，可按表 1 选取。

4.2.4 蒸发段、冷凝段单片管束中基管的数量均不宜大于 40 支。



注：图中 ⊗ ⊙ 表示热流体、冷流体前后相向流动。

图 2 分离式热管换热器双预热结构示意图



(a) 螺旋圆盘翅片
(b) 齿型翅片

d -基管外径; D -翅片外径; δ -基管壁厚; S_f -翅片厚度; t -翅片螺距; L -基管长度;
 L_f -翅片长度; h -翅片高度; hc -翅片齿形高度; w -翅片齿形宽度

图3 螺旋翅片管示意图

表1 热管系列参数

单位为毫米

基管			螺旋圆盘翅片及齿型翅片				
外径 d	壁厚 $\delta \geq$	长度 $L \leq$	翅片高度 $h \leq$	翅片厚度 S_f	翅片螺距 t	齿形宽度 w	齿形高度 hc
25	2.5	3 000	12	1.2~2.0	5~15	2~8	5~8
32	3.0	3 000	15	1.2~2.0	5~15	2~8	5~10
38	3.0	6 000	18	1.2~2.0	5~15	2~8	5~10
42	3.0	9 000	20	1.2~2.0	5~30	2~8	5~15
45	3.0	9 000	20	1.2~2.0	5~30	2~8	5~15
51	3.5	12 000	20	1.2~2.0	5~30	2~10	5~15
57	3.5	12 000	20	1.2~2.0	5~30	2~10	5~15

4.3 结构设计

- 4.3.1 蒸发段、冷凝段管束在其壳体中做有效限位和固定。
- 4.3.2 分离式热管换热器中壳体壁板厚度不应小于6mm。
- 4.3.3 冷流体换热器中冷凝管束上应设有排气阀组，排气阀组应设置在安全位置。
- 4.3.4 分离式热管换热器的上升管、下降管设计参照GB 50316中的相应规定。

4.3.5 分离式热管换热器的钢结构设计应符合 GB 4053、GB 50009、GB 50011、GB 50017、GB 50191、GB/T 22395 中的规定。

4.3.6 分离式热管换热器的钢结构设计应包括下列载荷：

- a) 自重（包括保温材料重量，工质重量等）；
- b) 动载荷（包括人员、检修器械重量，备品备件重量等）；
- c) 风载荷、雪载荷、地震作用；
- d) 温度作用；
- e) 运输、吊装时的冲击载荷；
- f) 烟道附加载荷；
- g) 管道附加载荷。

5 材料

5.1 管束单元

5.1.1 基管、联箱、上升管、下降管材料

- a) 基管、联箱、上升管、下降管应采用无缝管，常用材料见表 2。
- b) 碳钢管材料按 GB/T 3087 或 GB/T 5310 的规定。
- c) 耐热钢管材料按 GB/T 5310 或 GB/T 9948 的规定。
- c) 不锈钢管材料按 GB/T 13296 的规定。
- d) 09CrCuSb 钢管材料应符合 GB/T 150.2-2011 中附录 A.3.5 的要求。
- e) 铜管材料按 GB/T 8890 或 GB/T 1527 或 YS/T 662 的规定。
- f) 铝管材料按 GB/T 4437.1-2015 或 GB/T 6893 的规定。

5.1.2 翅片

- a) 翅片用碳钢管带按 GB/T 3274 或 GB/T 13237 的规定。
- b) 翅片用耐热钢、不锈钢钢带应符合 GB/T 4238、GB/T 3280 或 GB/T 4237 的规定。

5.1.3 工质

工质应与热管材料相容，常用工质的工作温度及其相容的热管材料见表 2。

表 2 工质与基管材料

序号	工质	基管材料	热管内工质工作温度，℃
1	乙醇	碳钢、不锈钢	0~120
2	水 ^a	碳钢 ^a 、铜	50~260
3	N-甲基吡咯烷酮 ^b	碳钢、不锈钢	220~320
4	萘 ^b	碳钢、不锈钢	220~380

a) 工质为水、基管材料为碳钢时，水必须经去离子处理，碳钢内壁必须经化学处理。
b) 工质 N-甲基吡咯烷酮、萘的纯度必须达到化学纯及以上级别。

5.2 钢结构

钢结构的材料按 GB/T 700、GB/T 706、GB/T 3274 或 GB/T 1591 的规定。材质的牌号不应低于 Q235B。

5.3 保温

冷、热流体换热器壳体和管道的保温材料应符合 GB/T 16400 的规定。

6 制造

6.1 原材料验收

制造分离式热管换热器所用的金属材料、配件等应有出厂质量合格证明书。有下列情况之一时应对原材料进行复验：

- a) 质量合格证明书的内容或项目不全；
- b) 制造单位对材料的质量有疑义；
- c) 用户要求增加检验的项目；
- d) 设计文件上另有规定。

所有复验结果应符合国家现行有关标准和设计文件的规定。

6.2 制造及安装

6.2.1 翅片管的制造应符合 NB/T 47030 的要求。

6.2.2 蒸发段、冷凝段管束内表面应进行除油、除锈、除氧化皮清洗和化学处理。

6.2.3 除翅片外，材质为碳钢、不锈钢的管束单元中所有管子的焊接应采用氩弧焊打底，手工电弧焊盖面。

6.2.4 蒸发段、冷凝段管束的制造参照 GB/T 16507.5 中相应的要求。

6.2.5 现场安装完成后，对上升管、下降管及管束的内表面应进行除油、除锈、除氧化皮清洗和化学处理，参照 TSG 11-2020 中相应的方法。

6.2.6 上升管、下降管的制作、安装参照 GB 50235 中的相应规定。

6.3 钢结构

钢结构的制造应符合 GB 50205、GB 50755 的规定。

6.4 保温

设备壳体及管道保温的施工符合 GB/T 50185 的规定。

6.5 钢结构表面处理及涂覆

6.5.1 钢结构外表面应喷砂除锈，应符合 GB/T 8923.1 中 Sa2.5 级要求。

6.5.2 冷、热流体换热器、钢架、平台外表面除锈完毕后，应按设计文件要求喷涂底漆。设计文件无要求时底漆采用两层无机富锌底漆，涂层总厚度不应小于 100 μ m，面漆应按用户要求。

7 检验与试验

7.1 一般规定

7.1.1 蒸发段管束、冷凝段管束在装入其壳体前应进行外观和尺寸检验；耐压试验。

7.1.2 冷、热流体换热器应进行外观和尺寸检验。

7.1.3 上升管、下降管安装前应进行管内清洁检验和外管尺寸检验。

7.1.4 蒸发段管束、冷凝段管束与上升管、下降管组成管束单元回路后应进行耐压试验。

7.1.5 合同或设计图纸文件中要求进行泄漏试验的冷、热流体换热器壳体应进行泄漏试验。

7.1.6 耐压试验、泄漏试验合格后，管束单元内充液、形成真空后应进行整体性能试验。

7.2 外观与尺寸检验

7.2.1 所有蒸发段管束、冷凝段管束应进行外观检验，外观质量应符合 GB/T 9082.1 的规定。

7.2.2 蒸发段管束、冷凝段管束结构尺寸应符合图纸和设计文件要求，翅片管检验应满足 NB/T 47030 的要求。

7.2.3 冷、热流体换热器钢结构的尺寸应符合图纸和设计文件要求。

7.2.4 上升管、下降管在安装前，管内应无尘、无油渍锈渍。

7.2.5 上升管、下降管尺寸应符合图纸和设计文件要求。

7.2.6 设备平台、爬梯等钢结构的尺寸应符合图纸和设计文件要求。

7.3 壳体表面焊缝检验

7.3.1 冷、热流体换热器壳体焊缝必须连续致密，不应有虚焊、漏焊。

7.3.2 当流经冷、热流体换热器的流体中含有 CO（如：工业煤气）等成分时，壳体中密封煤气的焊缝须进行 100%着色渗透或煤油渗透检测。

a) 着色渗透检测应符合 NB/T 47013.5 中规定，I 级合格；

b) 煤油渗漏检测时，所检焊缝应清理干净后涂抹白粉浆，待晾干后，在该焊缝的另一面涂刷煤油并使焊缝表面足够浸润，静置 0.5h 后，检查涂抹的白粉处无油渍为合格。

7.3.3 当流经冷、热流体换热器的流体中需要控制流体 O₂ 含量时，壳体中的密封焊缝须进行 100%着色渗透或煤油渗透检测。检测要求同 7.3.2 a) 或 b)。

7.3.4 设计文件中要求对流经冷、热流体换热器的壳体焊缝要求进行 100%着色渗透或煤油渗透检测的。检测要求同 7.3.2 a) 或 b)。

7.4 耐压试验

7.4.1 蒸发段管束、冷凝段管束的耐压试验按相应设计图纸文件中要求，试验介质为氮气或空气，方法按 GB/T 150.4 中规定；试验中宜采用水浸式检漏方式。

7.4.2 蒸发段管束、冷凝段管束与上升管、下降管现场安装完成，构成管束单元后按相应设计图纸文件中压力要求进行耐压试验，方法按 GB/T 150.4 中规定。

7.5 泄漏试验

7.5.1 冷、热流体换热器壳体在出厂前按设计图纸文件中压力要求进行泄漏试验，泄漏试验方法见附录 B。泄漏率不应超过 1%。

7.5.2 冷、热流体换热器壳体在现场安装完成后，必须采用盲板将换热器与冷、热流体管道隔断，按设计图纸文件中压力要求进行泄漏试验，泄漏试验方法见附录 B。泄漏率不应超过 1%。

7.6 性能试验

7.6.1 性能试验宜在项目考核期间进行。

7.6.2 性能试验内容包括热流体进出热流体换热器的流量、进出口温度、压降；冷流体进出冷流体换热器的流量、进出口温度、压降等。

8 验收

分离式热管换热器竣工后，应及时进行验收。验收内容包括：

a) 蒸发段管束、冷凝段管束、上升管、下降管元件原材料质量证明书；

- b) 分离式热管换热器外观和尺寸检验;
- c) 耐压和泄漏试验;
- d) 分离式热管换热器冷、热流体流量、进出口温度、压降。

9 铭牌

分离式热管换热器壳体上应设置不锈钢铭牌，铭牌至少应包含内容：

- a) 设备名称;
- b) 冷、热流体名称及进出口温度、流量;
- c) 换热量;
- d) 出厂编号;
- e) 出厂日期;
- f) 制造厂名称;
- g) 执行标准。

10 包装、运输与贮存

- 10.1 冷、热流体换热器壳体上应明确标识流体的流动方向。
- 10.2 冷、热流体换热器包装前应清理设备内部并清除所有残留物。
- 10.3 冷、热流体换热器模块均应做好防雨包装，敞口的管口做有效防护。
- 10.4 所有现场组装的部件应有标识。
- 10.5 所有散件供货的材料或零部件，如螺栓、螺母、垫片等均应单独包装，并应带有标签。
- 10.6 运输过程中应采取防止内部管束发生窜动或碰撞的措施。
- 10.7 冷、热流体换热器运至现场后应安放在硬化平整地面，做好防雨包装。
- 10.8 分离式热管换热器现场安装竣工未运行时应做有效防护，当环境温度低于0℃时，做好设备伴热，以防冻裂。

11 文档资料

制造商在设备竣工交付时，应提供下列资料：

- a) 产品质量合格证;
- b) 设备竣工及安装图;
- c) 耐压试验报告;
- d) 泄漏试验报告;
- e) 性能试验报告;
- f) 设计、安装、使用说明书。

所有文档资料应分类装订成册，并采用防水封装。

附录 A
(资料性附录)

分离式热管换热器设计数据表

装置名称					
用户/业主					
工厂位置					
设备编号					
制造单位					
型 号					
数量 (台/套)					
性能数据					
	内 容	热流体换热器	冷流体 I 换热器	冷流体 II 换热器	备注
	流体名称				
	流体成分(摩尔分数), %, (CO/CO ₂ /H ₂ /O ₂ /N ₂ /H ₂ O/CH ₄ ...)				
	SO ₂ /SO ₃ /Cl ⁻ /F... , mg/Nm ³				
	含尘量, mg/Nm ³				
	机械水含量, g/Nm ³				
	压力(表), Pa				
	入口流量, Nm ³ /h				
	入口温度, °C				
	出口温度, °C				
	允许压降, Pa				
	换 热 量, kW				
	换热面积, m ²				
	外形尺寸(长 x 宽 x 高), m				
	本体重量, kg				
	其它重量(管道/平台/爬梯), kg				
	吹灰器, 有/无				
	吹灰器名称				
	吹灰介质				
	吹灰介质用量, Nm ³ /h				
	吹灰介质压力(表), Pa				
	壳体隔热/保温, 内保温/外保温				
	冷热流体旁路, 有/无				
	油漆要求				
	最低/平均/最高环境空气温度, °C				
	最低/平均/最高环境相对湿度, %				
	最低/平均/最高风速, m/s				
	全年主导风向				
	基本风压值, Pa				
	装置区海拔高度, m				
	装置区域平均大气压, Pa				
	最大冻土深度, m				

附录 B (规范性附录)

泄漏试验

B.1 合同或设计文件中要求进行泄漏试验的冷、热流体换热器壳体，其泄漏量不得大于本技术文件的规定。如大于本文件的规定，应查找泄漏点，采取有效的修补措施以符合本技术条件的规定。

B.2 试验介质为压缩氮气。

B.3 采用钢板密封换热器流体的进出口，在密封板处安装充气接口与手动控制阀门，安装两个量程相同的、并经检定合格的压力表，压力表的量程为 1.5~2 倍的泄漏试验压力。压力表的精度不得低于 1.6 级，表盘直径不得小于 100mm。

B.4 缓慢打开阀门，缓慢升压至规定试验压力的 25%，保压 5min，对所有焊缝进行初次检查，如有泄漏，修补后重新试验，初次泄漏试验检查合格后，再继续缓慢升压至规定试验压力的 50%，如无异常现象，其后按规定试验压力的 25% 逐级升压，直至试验压力，保压足够长时间 (≥2h) 进行泄漏检查，同时记录数据。

B.5 试验时间为 2h，每小时平均泄漏率 $A \leq 1\%$ ，泄漏率 A 按下式计算：

$$A = \frac{1}{t} \left(1 - \frac{P_2 \times T_1}{P_1 \times T_2} \right) \times 100\%$$

式中：

A	每小时平均泄漏率，%
P_1 、 P_2	试验开始、结束时壳体内气体的绝对压力，Pa
T_1 、 T_2	试验开始、结束时壳体内气体的绝对温度，K
t	试验时间，h